

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE ELECTRICIDAD

CURSO: LABORATORIO DE MEDIDAS ELÉCTRICAS II
EE239M

LABORATORIO N.º 4

"TENSIÓN INDUCIDA Y RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN EN TRANSFORMADORES DE POTENCIA"

INFORME FINAL

Grupo Nº2º

Nº de orden:	Apellidos y Nombres
03	Enriquez Tocas, Luis Angel
09	Perez Barrios, Erick Giancarlo
10	Queque Jaccya Anderson Jesús
11	Reyes Obregón Joseph Joel

PERÍODO ACADÉMICO 2023-2

Profesor: Moisés Ventosilla Zevallos

NOVIEMBRE, 2023

DEDICATORIA

Este ensayo de laboratorio está dedicado primeramente a Dios. A nuestros padres que nos dieron la vida, apoyo y consejos. A nuestros compañeros que nos han apoyado en la realización de este informe dándonos los mejores consejos y guiándonos. A nuestro ingeniero Ventosilla Zevallos Moisés por los consejos de motivación y guías para nuestra formación como ingeniero.

AGRADECIMIENTOS

- Nos gustaría agradecer al profesor Moisés Ventosilla Zevallos por su orientación y apoyo durante el desarrollo de este experimento. Sus conocimientos y sugerencias fueron fundamentales para el éxito de este trabajo.
- A la facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Ingeniería, por la oportunidad de formarnos como Ingenieros Eléctricos
- Queremos expresar nuestro agradecimiento al personal técnico del laboratorio por su asistencia y ayuda en la realización de los experimentos. Su experiencia y disposición para responder nuestras preguntas fueron de gran valor.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

RESUMEN

El ensayo de laboratorio sobre pruebas en transformadores es un procedimiento crucial para evaluar la seguridad y el rendimiento de estos dispositivos eléctricos. Comprende tres componentes principales: la prueba de tensión inducida, la prueba de tensión aplicada y la medición de la relación de transformación. La prueba de tensión inducida se enfoca en la resistencia del aislamiento, mientras que la prueba de tensión aplicada evalúa la capacidad del transformador para soportar sobretensiones. La medición de la relación de transformación verifica si el transformador cumple con sus especificaciones de diseño. La realización de estas pruebas en el laboratorio es esencial para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de los transformadores en diversas condiciones. Se requiere personal capacitado y equipos adecuados para llevar a cabo estos ensayos conforme a los estándares establecidos.

INTRODUCCIÓN

La "Prueba de Tensión Inducida, Aplicada y Relación de Transformación en Transformadores" es un procedimiento fundamental en el ámbito de la ingeniería eléctrica y la gestión de sistemas de energía. Los transformadores desempeñan un papel esencial en la distribución de energía eléctrica, ya que permiten la transferencia eficiente de energía a diferentes tensiones y corrientes, lo que es crucial para la operación de múltiples dispositivos y sistemas eléctricos.

La importancia de estas pruebas radica en garantizar que los transformadores funcionen de manera segura y eficiente, no solo en condiciones normales, sino también en situaciones anormales o de sobrecarga. Además, estas pruebas son esenciales para verificar que los transformadores cumplan con las especificaciones de diseño y las normativas de seguridad eléctrica.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

1.1. Antecedentes

El transformador es el resultado de varios experimentos e inventos en la carrera por el desarrollo de la electricidad. El transformador como concepto tiene su inicio en 1876, donde un ingeniero ruso Pavel Yablochkov (1847-1894) inventó un sistema de iluminación basado en un par de bobinas de inducción, donde una primera bobina se conectaba a una fuente de corriente alterna y la bobina secundaria se conectaba al sistema de iluminación.



Figura 1. Bobina de inducción de Callan en el Museo Nacional de Ciencias, Maynooth-Irlanda

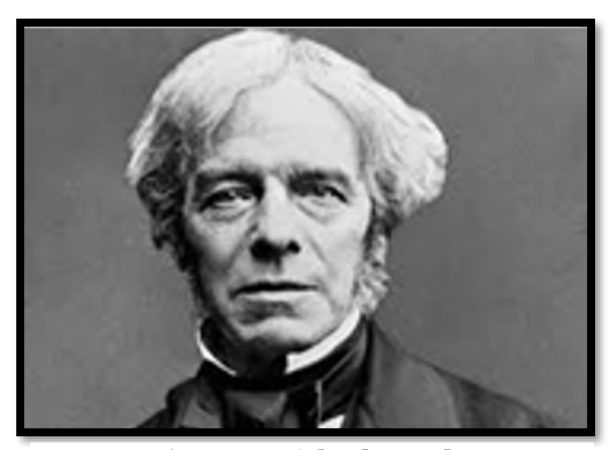


Figura 2. Michael Faraday

Ahora bien, lo inventado por Pavel fue posible gracias a las continuas mejoras en las bobinas de inducción inventadas por el irlandés Nicholas Joseph Callan (1799-1864) en 1836, y el físico e Ingeniero alemán Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803-1877) en 1850. Estas

bobinas de inducción tienen su fundamento en el fenómeno de la inducción electromagnética descubierto por el físico y químico británico Michael Faraday (1791-1867) en 1831, que dedicó su carrera al estudio del electromagnetismo y la electroquímica.



Figura 3. Generador Secundario de Gaulard y Gibbs

En 1882 Lucien Gaulard (1850-1888) y John Dixon Gibbs (1834-1912) ingenieros francés e inglés respectivamente, en una exposición en Londres, presentaron un aparato que denominaron el "Generador secundario" el cual tiene fundamentos en las bobinas de inducción de Pavel, solo que este nuevo dispositivo tenía núcleo abierto de hierro.

Entre 1884 y 1885 los ingenieros húngaros Károly Zipernowsky (1853-1942), Ottó Bláthy (1860-1939) y Miksa Déri (1854-1938), de la compañía Ganz, crearon en Budapest el modelo ZBD de transformador de corriente alterna, basado en un diseño de Gaulard y Gibbs. En su solicitud de patente aparece por primera vez la palabra "transformador".



Figura 4. Ottó Bláthy, Miksa déri y Károly Zipernowsky creadores del transformador "ZBD"



Figura 5. Primer Transformador de Ottó Bláthy, Miksa déri y Károly Zipernowsky, Budapest, 1885

En 1885, el estadounidense George Westinghouse (1846-1914), empresario, ingeniero e inventor, titular de la Westinghouse Electric Company, compró las patentes del ZBD y las de Gaulard y Gibbs. También le encomendó al ingeniero estadounidense William Stanley (1858-1916), con el apoyo de Albert Schmid y Oliver B. Shallenberger la construcción de un transformador de tipo ZBD para uso comercial.

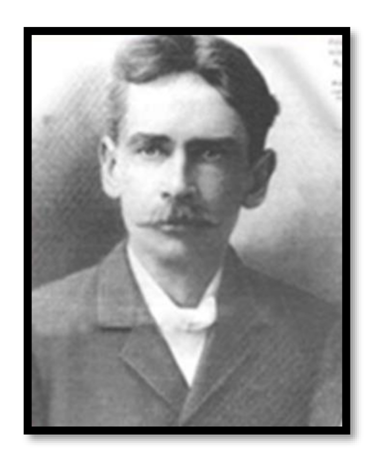


Figura 6. William Stanley Jr.



Figura 7. Primer prototipo del transformador de Stanley, Massachusetts, 1885.

1.2. Descripción de la realidad problemática

Los transformadores desempeñan un papel fundamental en la distribución de energía eléctrica y en diversas aplicaciones industriales. La tensión inducida, la tensión aplicada y la relación de transformación son conceptos clave en su funcionamiento, pero enfrentan desafíos importantes:

- Pérdidas de Energía: Los transformadores no son dispositivos 100% eficientes. Experimentan pérdidas de energía en forma de calor debido a la resistencia de los devanados y la histéresis magnética. Estas pérdidas pueden reducir la eficiencia de la distribución de energía y afectar la economía operativa.
- Diseño y Dimensionamiento Óptimo: Se requiere un diseño y dimensionamiento óptimo de transformadores para satisfacer las demandas de carga de manera eficiente

y segura. Esto incluye la elección de la relación de transformación adecuada para ajustar los niveles de voltaje.

- Impacto de las Cargas No Lineales: En entornos industriales, las cargas no lineales, como variadores de velocidad y equipos electrónicos, pueden introducir armónicos en el sistema. Esto puede afectar la calidad de la energía y requerir transformadores diseñados para mitigar estos efectos.
- Mantenimiento y Vida Útil: Los transformadores requieren un mantenimiento adecuado para garantizar su rendimiento a lo largo del tiempo. La determinación de la vida útil de un transformador y la implementación de estrategias de mantenimiento efectivas son desafíos clave.
- Coordinación de Protección: En sistemas de distribución y transmisión de energía, es fundamental coordinar la protección de los transformadores para garantizar una respuesta adecuada en caso de fallas, como cortocircuitos. La relación de transformación y las corrientes de carga son factores importantes en esta coordinación.

  Integración de Energías Renovables: Con la creciente integración de energías renovables, como la energía solar y eólica, en las redes eléctricas, es necesario considerar cómo los transformadores pueden adaptarse y optimizarse para gestionar la variabilidad de estas fuentes de energía.

1.3. Justificación e importancia del ensayo

La realización de ensayos relacionados con la tensión inducida, aplicada y la relación de transformación en transformadores es esencial por varias razones. A continuación, se presenta la justificación y la importancia de estos ensayos:

- Verificación de Rendimiento: Los ensayos de tensión inducida, aplicada y relación de transformación son fundamentales para verificar el rendimiento y la conformidad de

los transformadores con las especificaciones de diseño. Estos ensayos garantizan que los transformadores funcionen de acuerdo con las expectativas y los estándares de rendimiento.

- Mantenimiento de Calidad: La realización de ensayos permite identificar cualquier problema o defecto en un transformador antes de su puesta en servicio o durante su vida útil. Esto contribuye a mantener la calidad y confiabilidad del equipo.
- Optimización de Diseño: Los ensayos proporcionan información valiosa sobre el comportamiento real de los transformadores en condiciones de funcionamiento específicas. Esta información puede utilizarse para optimizar el diseño de futuros transformadores y mejorar su eficiencia.
- Seguridad: La seguridad eléctrica es una prioridad en la operación de transformadores. Los ensayos ayudan a identificar y mitigar riesgos potenciales, como sobretensiones, corrientes de falla y otros eventos que podrían comprometer la seguridad de las personas y el equipo.

Importancia:

- Garantía de Calidad y Confiabilidad: Los ensayos aseguran que los transformadores cumplan con los estándares de calidad y confiabilidad necesarios para su operación segura y eficiente en sistemas eléctricos.
- Eficiencia Energética: Al verificar la relación de transformación y otras características, se garantiza que los transformadores funcionen de manera eficiente y no desperdicien energía durante la conversión de voltaje y corriente.
- Protección de Activos: Los transformadores son activos, costosos y críticos en sistemas eléctricos. Los ensayos ayudan a proteger estos activos al detectar problemas a tiempo y evitar costosos tiempos de inactividad.

- Cumplimiento Normativo: Los ensayos son esenciales para garantizar que los transformadores cumplan con las regulaciones y normativas de seguridad eléctrica y medio ambiente.
- Optimización de Operación: La información obtenida de los ensayos se puede utilizar para optimizar la operación de los transformadores y prevenir problemas antes de que ocurran.

1.4. Objetivos

- La prueba de rutina tensión inducida a los equipos eléctricos permite determinar la calidad de las espiras, entre bobinas y entre una bobina y tierra mantiene la calidad requerida cuando son sometidas a tensiones y frecuencias extremas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Transformador de potencia o tensión

Un transformador de tensión es un dispositivo destinado a la alimentación de aparatos de medición y/o protección. El primario se conecta en paralelo con el circuito por controlar y el secundario se conecta en paralelo con las bobinas de tensión de los diferentes aparatos de medición y de protección que se requieren energizar. Cada transformador de tensión tendrá, por lo tanto, terminales primarios que se conectaran a un par de fases o a una fase y tierra, y terminales secundarios a los cuales se conectara a equipos de medición y/o protección. En estos aparatos la tensión secundaria, dentro de las condiciones normales de operación, es prácticamente proporcional a la tensión primaria, aunque ligeramente desfasada. Desarrollan dos funciones: Transformar la tensión y aislar los instrumentos de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.

Hay dos tipos:

1. Los transformadores de tensión que consisten en dos arrollamientos realizados sobre un núcleo magnético “Transformadores de tensión inductivos”
2. Los transformadores de tensión que contienen un divisor capacitivo “Transformadores de tensión capacitivos”

El principio básico de operación y construcción de este transformador es similar al transformador de potencia estándar. En común, los transformadores potenciales se abrevian como PT.

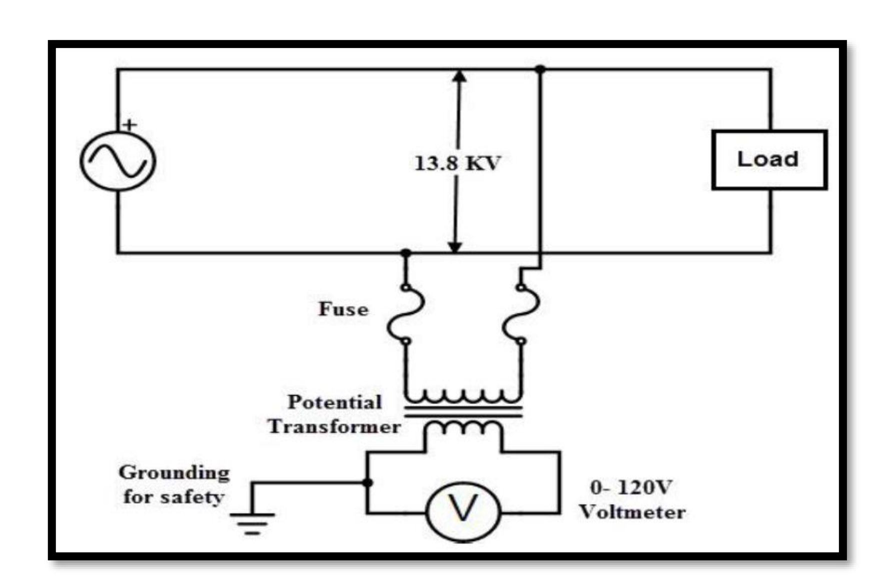


Figura 8. Transformador de potencia

El devanado primario consiste en un gran número de vueltas que se conecta a través del lado de alto voltaje o la línea en la que se deben tomar o proteger las mediciones. El devanado secundario tiene un número menor de vueltas que está conectado a los voltímetros, o bobinas potenciales de vatímetros y medidores de energía, relés y otros dispositivos de control.

Dado que los voltímetros y las bobinas potenciales de otros medidores tienen una alta impedancia, una pequeña corriente fluye a través del secundario del PT, por lo tanto, el PT se comporta como un transformador ordinario de dos devanados que funciona sin carga. Debido a esta baja carga en el PT, las clasificaciones de VA de los PT son bajas y están en el rango

de 50 a 200 VA, en el lado secundario, un extremo está conectado a tierra por razones de seguridad como se muestra en la figura anterior.

Relación De Transformación:

Esta relación que se obtiene entre el número de espiras primario entre el número de espiras del secundario es equivalente a la división de la tensión primaria entre la tensión secundaria, la relación de las corrientes es inversamente proporcional a la relación de tensiones.

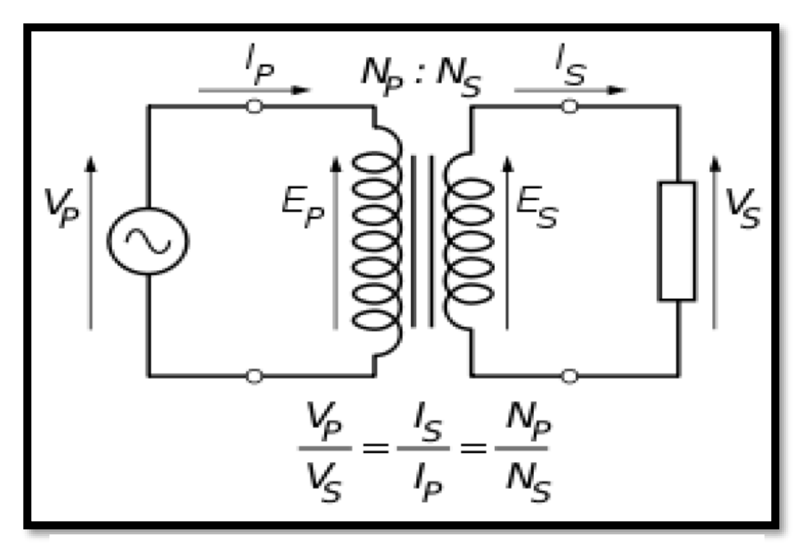


Figura 9. Esquema eléctrico de un transformador de tensión

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Prueba de tensión inducida

Para verificar la aislación entre espiras se debe aplicar entre las mismas una tensión superior a la nominal, pero esto aumentaría la inducción magnética en el núcleo y lo llevaría a grados de saturación muy elevados, con el correspondiente aumento de la corriente absorbida. Se puede evitar la saturación, e inclusive reducirla. Si se trabaja con una frecuencia superior a la nominal, en efecto, para una dada tensión aplicada si se aumenta la frecuencia, baja la inducción magnética.

Por tal motivo es frecuente disponer en los laboratorios de ensayos, equipos rotativos que producen tensiones de algunos centenares de Hertz para realizar estos ensayos. Esa tensión se eleva mediante un transformador bajo ensayo, se la mantiene durante 60 segundos y luego se la reduce en forma gradual.

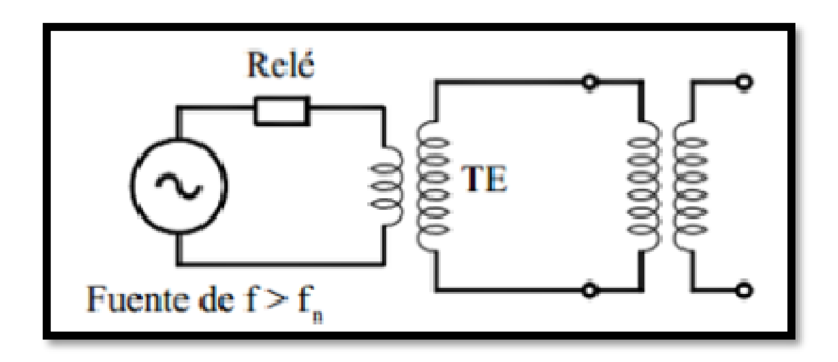


Figura 10. Ensayo de tensión inducida

La tensión aplicada a uno de los arrollamientos también queda aplicada por inducción a los otros arrollamientos del transformador. Si el aislamiento no falla, el ensayo se considera satisfactorio. Si se produce una falla, se debe desarmar el transformador, repáralo y repetir el ensayo.

La tensión que se debe aplicar está dada en las normas y es función de la tensión nominal del transformador.

2.2.2. Prueba de tensión aplicada

Este ensayo sirve para verificar la rigidez dieléctrica de las aislaciones a masa y entre arrollamientos.

Se realiza aplicando una tensión alterna sinusoidal, la frecuencia nominal y de valor determinado por las normas a un arrollamiento dado, estando los restantes y el núcleo conectado a masa.

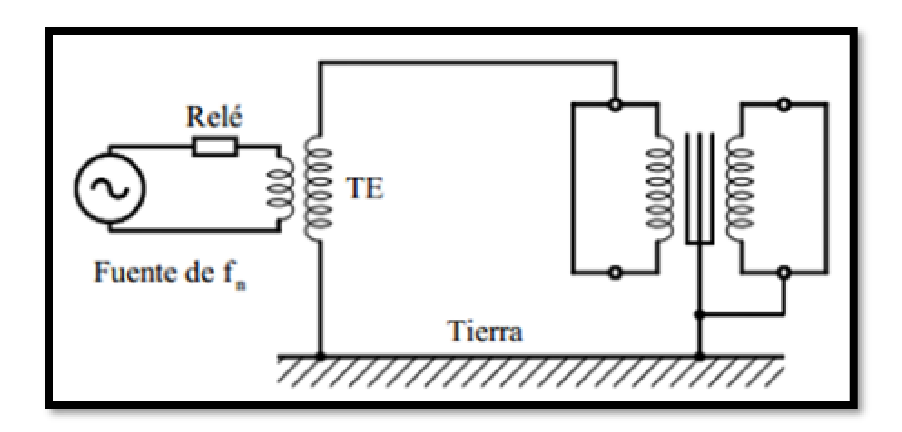


Figura 11. Ensayo de tensión aplicada

La tensión se aplica gradualmente, se la mantiene durante 60 segundos y luego se la reduce también gradualmente. Si el dieléctrico no se perfora, el ensayo se considera satisfactorio.

Si se produce una falla, la elevada corriente que circula acciona un relé de sobre corriente que se desconecta al transformador elevador TE y se debe desarmar el transformador ensayado, repararlo y repetir el ensayo.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y MATERIALES A UTILIZAR

3.1. Materiales y Equipos

- ✓ Osciloscopio
- ✓ Autotransformador
- ✓ Resistencia Variable
- ✓ Multímetro
- ✓ Vatímetro
- ✓ Amperímetro
- ✓ Voltímetro
- ✓ Generador de onda

- ✓ Inductímetro
- ✓ Conectores
- ✓ Banco de resistencias

3.2. Procedimiento

3.2.1. Prueba de tensión inducida

Colocar la salida del grupo generador convertidor de frecuencia transformador auxiliar a los bornes de menor tensión del transformador de prueba (en casi de no requerirse transformador auxiliar, la conexión será directa al grupo convertidor al transformador de prueba), conectar el tanque a tierra.

Alimentar desde el tablero general al motor del grupo convertidor de frecuencia.

Incrementar la tensión de alimentación al motor del convertidor hasta alcanzar el voltaje y frecuencia nominal de prueba. A la salida del convertidor se conectan los instrumentos respectivos para efectuar las mediciones de frecuencia y voltaje.

Alcanzado el valor de tensión de prueba se empieza a medir el tiempo indicado en la norma IEC 60076.

Para que el núcleo no se sature con el doble de la tensión inducida se debe también duplicar la frecuencia, en el caso de utilizar en el ensayo frecuencias mayores a la nominal, el tiempo establecido para la prueba estará dada según la IEC-60076-2.

$$T = 120 \cdot \frac{F_n}{F_p}$$

Donde:

T: Tiempo de duración del ensayo (s)

Fn: Frecuencia nominal (Hz)

Fp: Frecuencia de la prueba (Hz)

En la actualidad existen varios métodos mediante los cuales, se pueden obtener la tensión sinusoidal con la frecuencia necesaria para este ensayo.

Uno de estos métodos utiliza equipos electrónicos de potencia, que generan tensiones a la frecuencia y potencias requeridas.

Otro método es a partir de un motor asincrónico de rotor bobinado, utilizándolo como generador, haciendo girar su rotor con un motor primario a velocidad nominal, pero en sentido contrario al campo del estator, para obtener una velocidad relativa del rotor con relación a la velocidad del campo del estator, igual al doble de la velocidad nominal. De esta forma, en el rotor se puede obtener una tensión con una frecuencia igual al doble de la frecuencia nominal.

El método más tradicional es mediante una máquina sincrónica de baja potencia, movida por un motor primario. Este par pudiera tener como frecuencia nominal, la frecuencia necesaria para la prueba, pero no son comunes las máquinas sincrónicas con frecuencias eléctricas nominales mayores a 60 Hz. Lo más habitual es, a partir de un generador sincrónico de 50 o 60 Hz, aumentar su velocidad en el eje hasta obtener la frecuencia necesaria en las magnitudes de salida.

Esta variación de la velocidad en el eje del generador se puede obtener acoplándose un motor cuya velocidad nominal sea la indispensable para la frecuencia que se necesita o acoplándose un motor que, aunque no tenga la velocidad nominal necesaria, se le pueda variar esta mediante los métodos que existen y de esta forma llevar al generador hasta la velocidad que le permita generar a la frecuencia de la prueba, siempre que mecánicamente sea permisible.

Variación de la velocidad del motor primario

Los métodos de variación de velocidad de un motor de inducción son:

1.- Actuando sobre el deslizamiento.

a) Por variación de resistencia (obsoleto)

b) Por cascadas asincrónicas (tiene un rango limitado de regulación de velocidad)

2.- Por polos consecuentes (en máquinas especialmente construidas para eso)

3.- Por frecuencia

a) Control vectorial

b) Control escalar (mantiene la relación V/F, constante)

Criterio de aceptación:

Una vez finalizado el ensayo se considera satisfactorio, si es que en el desarrollo de este no se presentaron anomalías en el transformador como descargas internas o externas, acompañadas de un brusco aumento de corriente.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Condiciones ambientales y datos de la placa de los equipos e instrumentos utilizados

Tabla 1. Datos de condiciones ambientales

Humedad Relativa	Temperatura	Altitud	Presión Atmosférica
84 %	21 °C	120 msnm	1013 hPa



Figura 12. Placa de datos del transformador de intensidad de medida y protección

Relación de transformación del transformador usado: 10.0/0.1 kV



Figura 13. Transformador de medida mixta de Tensión y Corriente (Trafomix)





Figura 14. Digital Transformer Ratiometer (DTR) model 8500

Tabla 2. Característica del transformador mixto

Cantidad	Descripción
1	T. Tensión
	➢ Potencia: 2x30VA ➢ Relación: 10/0.1kV ➢ Frecuencia: 60 Hz
	T. Corriente
	➢ Potencia: 2x15VA ➢ Relación: 20-40-80/5ª ➢ Frecuencia: 60 Hz

Tabla 3. Características del Transformer Ratiometer

Descripción	Valores
1	➢ Señal de excitación: PT/VT: 44Vrms máximo. CT modo: Auto level 0 a 1 a 5 Vrms. ➢ Frecuencia de excitación: 70 Hz

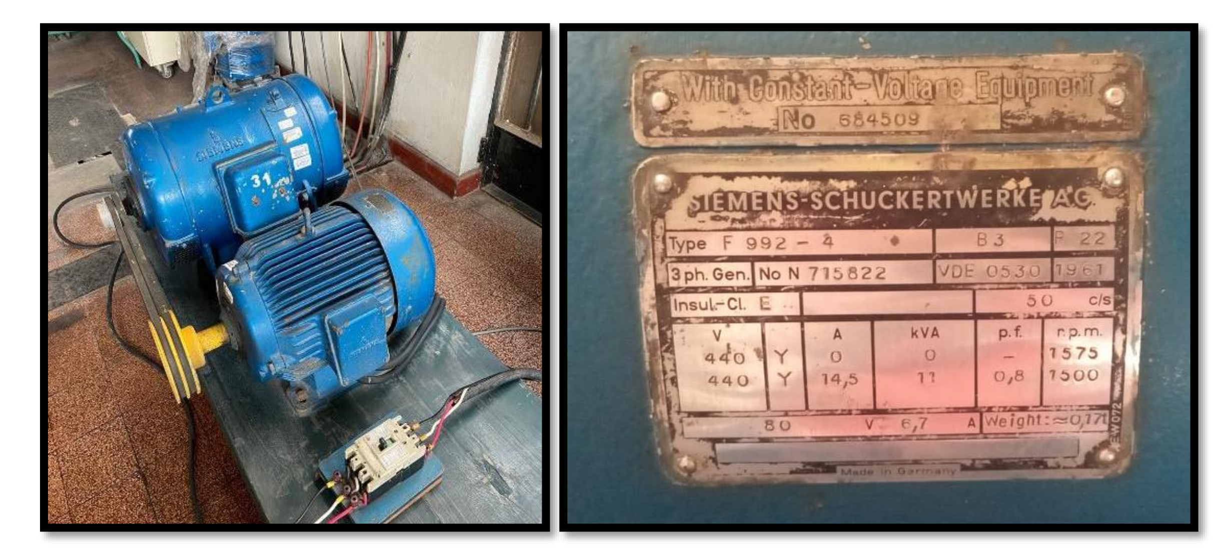


Figura 15. Placa del motor asíncrono





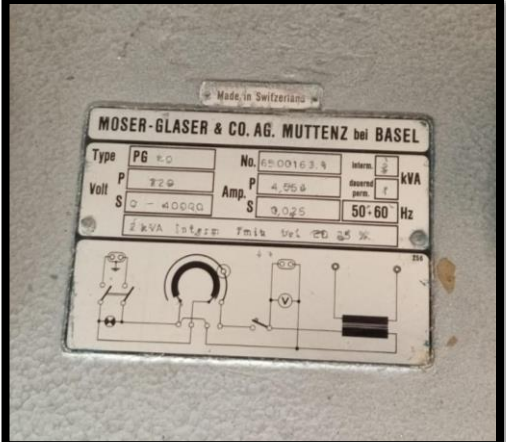


Figura 16. Fuente de alta tensión AC

4.2. Procedimiento experimental

4.2.1. Prueba de Tensión Inducida

Este ensayo tiene como finalidad verificar los esfuerzos dieléctricos producidos en los aislamientos entre todos los puntos donde se induce tensión. Esto es: entre espiras, entre bobinas, entre capas de las bobinas, entre derivaciones, entre salidas, etc.

Con ese fin se aplica al arrollamiento de menor tensión, el doble de la tensión nominal, durante un tiempo de prueba establecido. Para que el núcleo no se sature con el doble de la tensión inducida se debe también multiplicar la frecuencia, en el caso de utilizar en el ensayo frecuencias mayores a la nominal, el tiempo establecido para la prueba estará dada por:

$$Tt = 120 \times fn/ft$$

Dónde:

Tt= $Tiempo\ de\ prueba$

fn= $Frecuencia\ nominal$

ft=$Frecuencia\ de\ prueba$

Procedimiento:

- Colocar la salida del grupo convertidor de frecuencia – transformador auxiliar a los bornes de menor tensión del transformador de prueba (en caso de no requerirse transformador auxiliar, la conexión será directa al grupo convertidor al transformador de prueba), conectar el tanque a tierra.
- Alimentar desde el tablero general al motor del grupo convertidor de frecuencia.
- Incrementar la tensión de alimentación al motor del convertidor hasta alcanzar el voltaje y frecuencia nominal de prueba. A la salida del convertidor se conectan los instrumentos respectivos para efectuar las mediciones de frecuencia y voltaje.
- Alcanzado el valor de tensión de prueba se empieza a medir el tiempo indicado en la norma IEC 60076.

Una vez finalizado el ensayo se considera satisfactorio, si es que en el desarrollo de este no se presentaron anomalías en el transformador como descargas internas o externas, acompañadas de un brusco aumento de corriente.

Tabla 4. Valores registrados en cada Fase

N°	Tiempo (s)	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Corriente (A)
1	60	197.14	121.04	0.058
2	60	205.87	121.16	0.097
3	60	205.55	126.96	0.050

4.2.2. Prueba de Tensión Aplicada

El objetivo de este ensayo es determinar el nivel de tensión del aislamiento.

Esta experiencia nos sirve para determinar los niveles de aislamiento de los enrollamientos con respecto a las bobinas de alta tensión, baja tensión y masa cumplan con la norma

IEC 60076-3. Este ensayo también es llamado prueba de aislamiento de frecuencia industrial y su duración debe ser de un minuto.

Procedimiento:

- La tensión para aplicar a los devanados del transformador será según lo indicado en las tablas.
- Puentear los bornes de alta tensión (AT) y todos los bornes de baja tensión (BT).
- Conectar a tierra los bornes de BT o bornes no sometidos a tensión con el tanque del transformador.
- Conectar la salida de tensión variable del tablero general (solo dos bornes - monofásico) con los bornes de alimentación del transformador monofásico elevador (relación de transformación 1 /500). De ser el caso se utilizará transformadores auxiliares de relación 1/2, antes de la alimentación del transformador monofásico elevador para tensiones de pruebas altas.
- Conectar la salida del transformador monofásico elevador a los bornes de AT del transformador a ensayar.
- Alimentar con voltaje gradual desde el tablero general al transformador elevador, hasta llegar el valor de la tensión de prueba indicado en la tabla 2.1.
- Alcanzado el valor de tensión de prueba, medir el tiempo de prueba (60 segundos) con un cronómetro, el valor de tensión y corriente debe mantenerse constante.

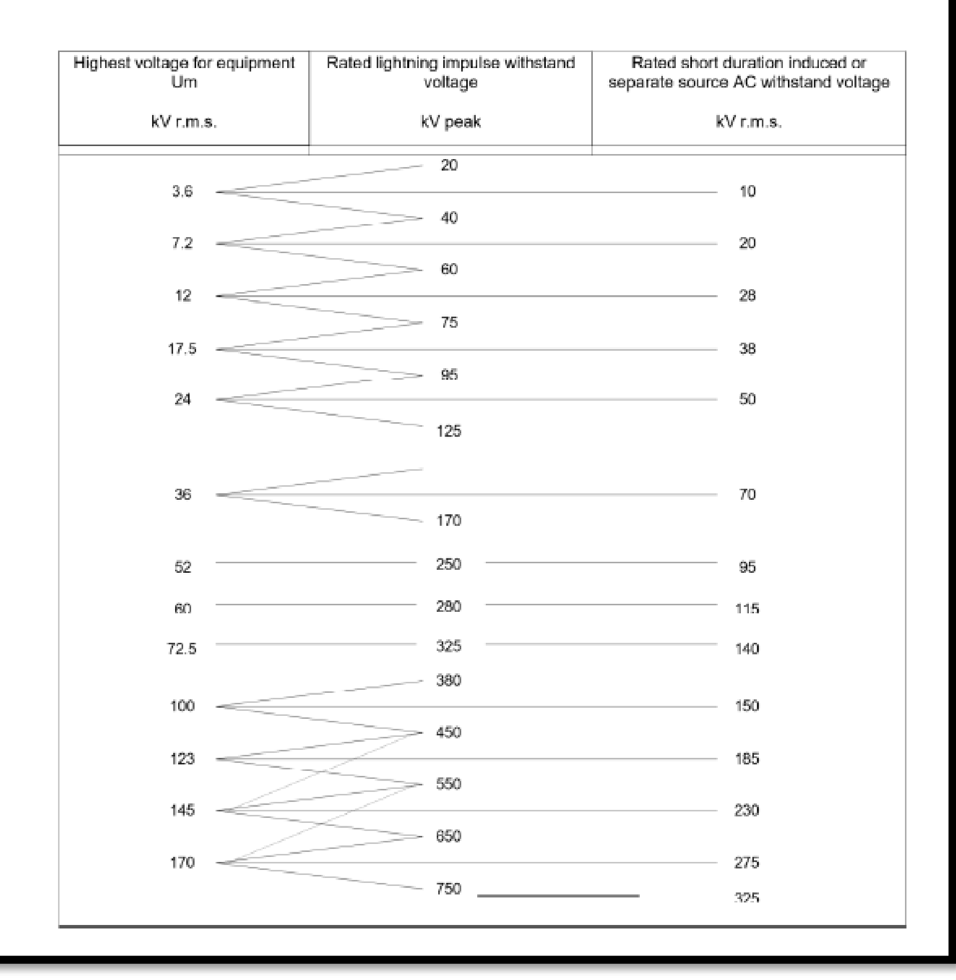
Una vez finalizado el ensayo se considera satisfactorio, si es que en el desarrollo de este no se presentan anomalías en el transformador como las descargas por flameo externo o arco interno con incremento drástico de la corriente de prueba.

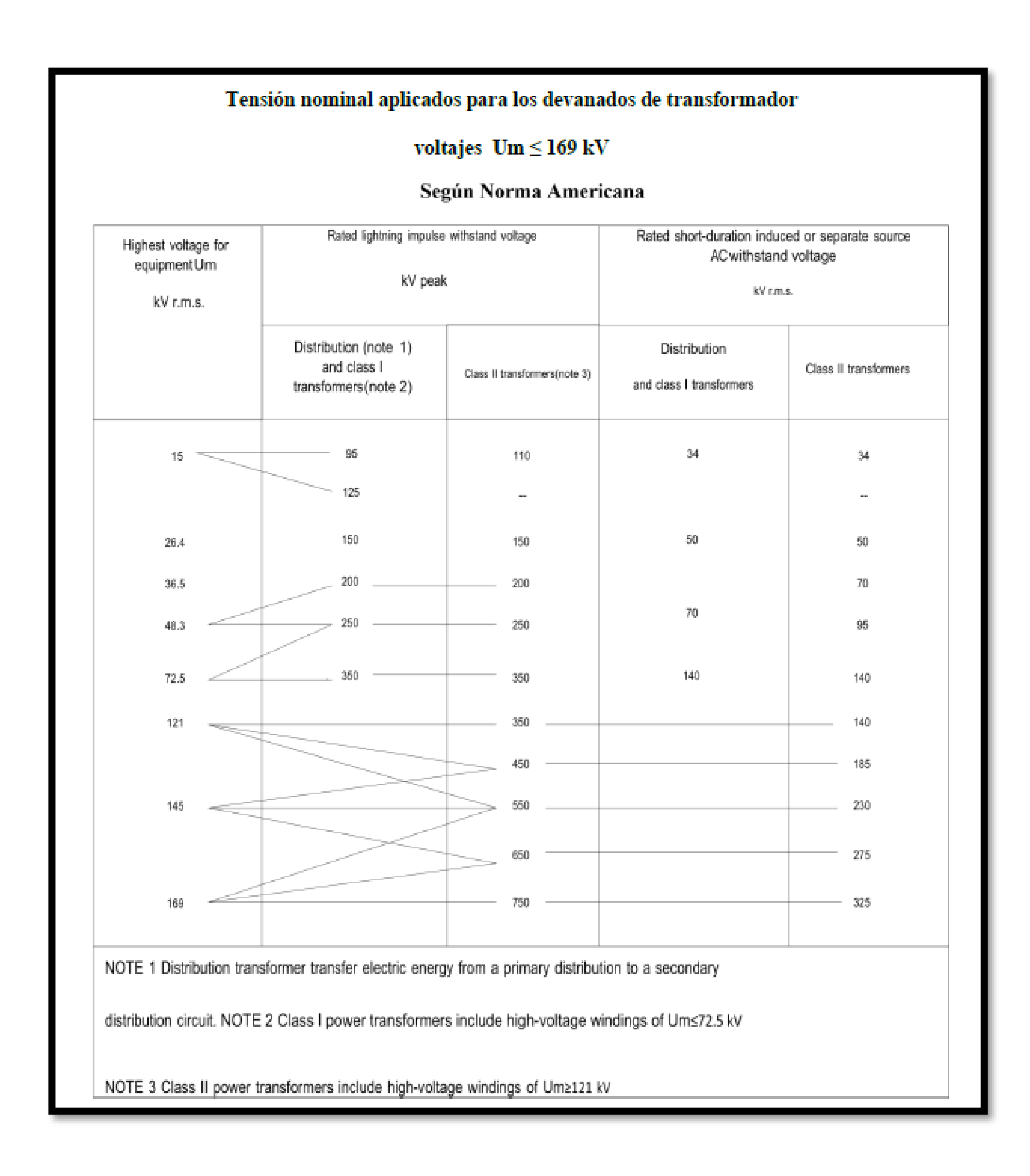
Las causas frecuentes de fallas son: bajo aislamiento entre arrollamientos y respecto a masa; bajo nivel de aceite; existencia de humedad o pérdida de propiedades físicas químicas del aceite.

Tensión nominal aplicados a los devanados del transformador con Tensiones

Um ≤ 169 kV

Según Norma Europea





Tensión nominal aplicados para los devanados de transformador

voltajes Um ≤ 169 kV

Según Norma Americana

Highest voltage for equipment Um kV r.m.s.	Rated lightning impulse withstand voltage kV peak		Rated short-duration induced or separate source AC withstand voltage kV r.m.s.	
	Distribution (note 1) and class I transformers (note 2)	Class II transformers (note 3)	Distribution and class I transformers	Class II transformers
15	95	110	34	34
	125	--		--
26.4	150	150	50	50
36.5	200	200		70
48.3	250	250	70	95
72.5	350	350	140	140
121		350		140
		450		185
145		550		230
		650		275
169		750		325

NOTE 1 Distribution transformer transfer electric energy from a primary distribution to a secondary distribution circuit. NOTE 2 Class I power transformers include high-voltage windings of Um≤72.5 kV

NOTE 3 Class II power transformers include high-voltage windings of Um≥121 kV

Tabla 5. Valores medidos de la prueba de tensión aplicada

N°	Tiempo (s)	Voltaje (kV)	Frecuencia (Hz)	Corriente (mA)	Bornes
1	60	10	60	2.92	AT-masa
2	60	3	60	0.40	BT-masa

4.2.3. Prueba de relación de transformación

La finalidad de este ensayo es determinar la relación de transformación entre los devanados primarios y secundarios con una relación de vueltas menor a 0.5%, según la norma IEEE STD 57-12-00-2015.

Procedimiento:

- Para la prueba debemos empezar en el menú principal presionando “RUN TEST”.
- Luego para el XFMR CONFIG escogemos la opción 2 “DY”
- Luego presionamos la opción “YES”
- Después presionamos la opción “DYN1”
- Nos saldrá en la pantalla “NAME PLATE VOLTAGE”
- Presionamos la opción “YES”
- Finalmente presionamos “START” donde obtendremos la relación de vueltas en porcentaje.

Tabla 6. Valores medidos de la prueba de relación de transformación

N°	Tiempo (s)	Ns/nr Placa	Ns/nr medido	Bornes
1	13	10/0.1 kV	99.755:1	U-V
2	13	10/0.1 kV	99.770:1	V-W
3	13	10/0.1 kV	99.787:1	U-W

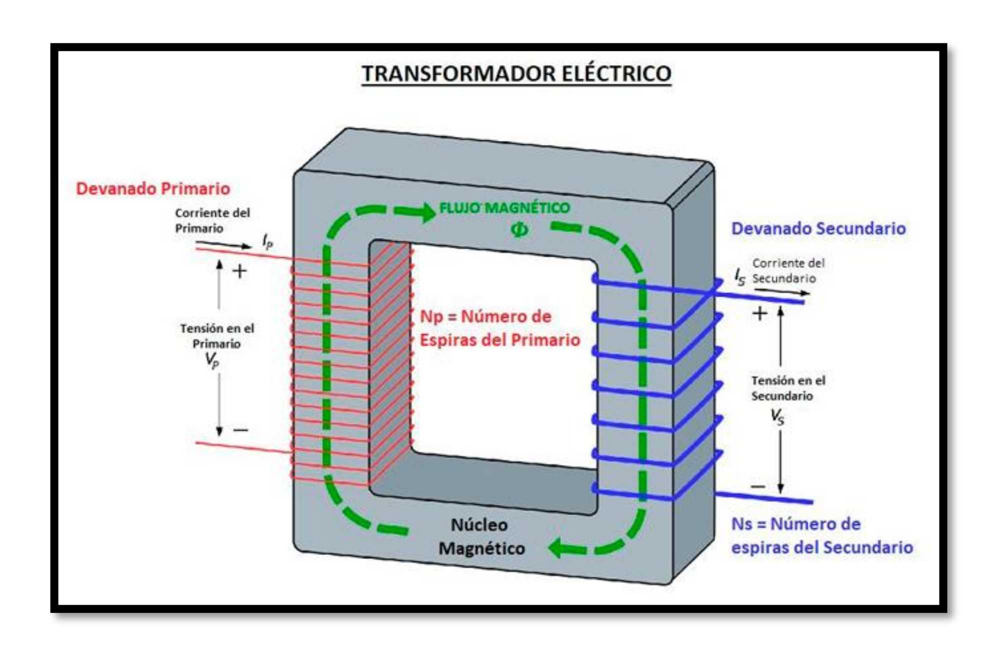
CAPÍTULO V: CUESTIONARIO

GENERALES

A. El transformador que se utilizó para las pruebas de tensión inducida, aplicada y relación de transformación fue un transformador de potencia o de medida.

El transformador que utilizamos para las pruebas fue un transformador de medida

B. Dibujar el esquema eléctrico del transformador identificando los transformadores de medida de tensión y corriente.



C. Las Normas utilizadas para las pruebas en transformadores de potencia y medidas ¿Son las mismas?

No son las mismas, aunque hay algunas semejanzas también existen diferencias.

- Para los transformadores de potencia se utiliza la norma IEC-60076
- Para los transformadores de medida se utiliza la norma IEC-60044

PRUEBA DE TENSIÓN INDUCIDA

A. Describir paso a paso el procedimiento seguido para la ejecución de las pruebas realizadas desde el inicio hasta el final indicando las labores realizadas por cada integrante del grupo.

Asignamos una tensión de 200V al lado secundario, o sea el doble de su tensión nominal (Vn=100V, datos de la placa).



Hacemos correctamente el conexionado, y medimos la frecuencia, voltaje y corriente en las 3 fases como se puede apreciar en las imágenes.



B. Identificar las Normas Internacionales IEC, ANSI, IEEE u otras aplicables.

Las normas aplicables son las siguientes IEC 60076– 3 e IEC 60076 – 11, indican que debe aplicarse, a los bornes de un devanado del transformador, una tensión alterna próxima a la forma sinusoidal. La tensión de ensayo debe ser igual al doble del valor de la tensión asignada a frecuencia industrial, entre los bornes de línea de un devanado trifásico.

C. Indicar los límites de aceptación al menos de una de las Normas.

Las normas establecen que durante la prueba se debe estar atento a la presencia de humo o burbujas en el aceite, sonidos audibles, caídas abruptas de la tensión o incrementos súbitos de la corriente. Plantean que cualquiera de estas indicaciones debe ser cuidadosamente investigada mediante la observación, repitiendo el ensayo o mediante otras pruebas para confirmar si ha ocurrido una falla.

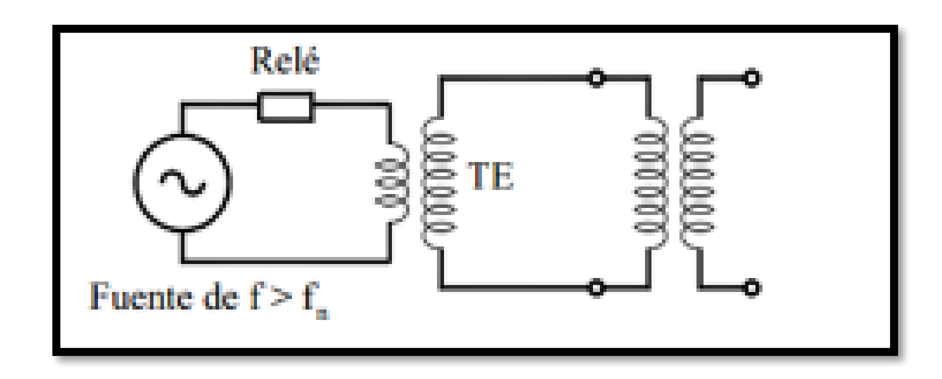
D. De acuerdo con una Norma Internacional se acepta o rechaza los resultados de la prueba.

De acuerdo con las normas IEC 60076– 3 e IEC 60076 – 11, ya que la variación de tensión fue mínima (Varia alrededor de 0.1v durante el tiempo de la prueba) así como también la corriente lo cual indica que el aislamiento interno de los enrollados del transformador y el aislamiento entre espiras están en buenas condiciones.

E. La prueba de tensión inducida ¿Qué anomalías en transformador permiten identificar?

Esta prueba tiene como objetivo, verificar el estado del aislamiento interno de los enrollados del transformador, es decir, el aislamiento entre espiras y entre capas de un mismo devanado.

F. Dibujar el esquema eléctrico y mecánico de la prueba.



PRUEBA DE TENSIÓN APLICADA

A. Describir paso a paso el procedimiento seguido para la ejecución de las pruebas realizadas desde el inicio hasta el final indicando las labores realizadas por cada integrante del grupo.



Conectamos Alta – Baja

- Cortocircuitamos el lado de alta y baja tensión, luego conectamos al generador de voltaje y medimos los valores que nos indica.

Conectamos Baja – Masa

- Conectamos los bornes del transformador de potencial en el borne de baja tensión y en la masa del transformador.

B. Identificar las Normas Internacionales IEC, ANSI, IEEE u otras aplicables.

IEC 60076

C. Indicar los límites de aceptación al menos de una de las Normas.

Los límites de aceptación es que mediante el ensayo no se presente Ninguna anomalía visual o interna como sonidos dentro del transformador, arcos eléctricos, olor a quemado del transformador.

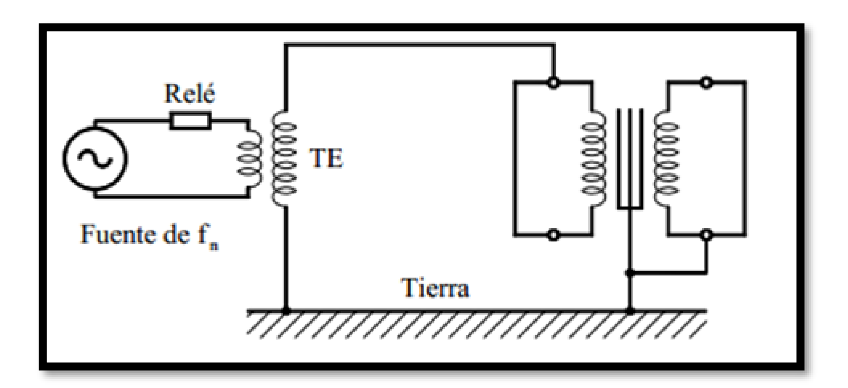
D. **De acuerdo con una Norma Internacional se acepta o rechaza los resultados de la prueba.**

De acuerdo con la norma se aceptan los resultados de la prueba ya que no se presentaron anomalías.

E. **La prueba de tensión aplicada ¿Qué anomalías en transformador permiten identificar?**

Una vez finalizado el ensayo se considera satisfactorio, ya que en desarrollo de este no se presentaron anomalías en el transformador como ruidos o sonidos en el interior o arcos eléctricos.

F. **Dibujar el esquema eléctrico y mecánico de la prueba.**



PRUEBA DE RELACIÓN DE TRANSOFORMACIÓN

A. **Describir paso a paso el procedimiento seguido para la ejecución de las pruebas realizadas desde el inicio hasta el final indicando las labores realizadas por cada integrante del grupo.**

- Primero verificamos que nuestro DTR (Digital Transformer Ratiometer) esté en correcto funcionamiento.



- Luego realizar la conexión del instrumento al lado de baja tensión (a-b), se conectó el lado de alta tensión (A-B), esto con el fin de realizar la medición por fases.
- Verificar la conexión y poner en funcionamiento el DTR para que se realice el registro de los datos para la primera fase (99.786:1)

De la misma manera se trabaja la prueba de relación de transformación en las demás fases.

B. Identificar las normas internacionales IEC, ANSI, IEEE u otras aplicables.

IEEE C57.12.91: Esta prueba permite detectar cortocircuitos entre espiras o secciones del bobinado. Adicionalmente, la norma sugiere que la prueba sea realizada para todas las posiciones del conmutador. Para la metodología de la prueba sugiere aplicar una tensión alterna en los terminales de AT y medir la tensión inducida en los terminales de BT.

C. **Indicar los límites de aceptación al menos de una de las normas.**

IEEE C57.12.91: La norma dicta que la desviación máxima admisible entre los valores medidos y los de referencia (dato de placa) es de 0,5%. Diferencias mayores deben ser investigadas.

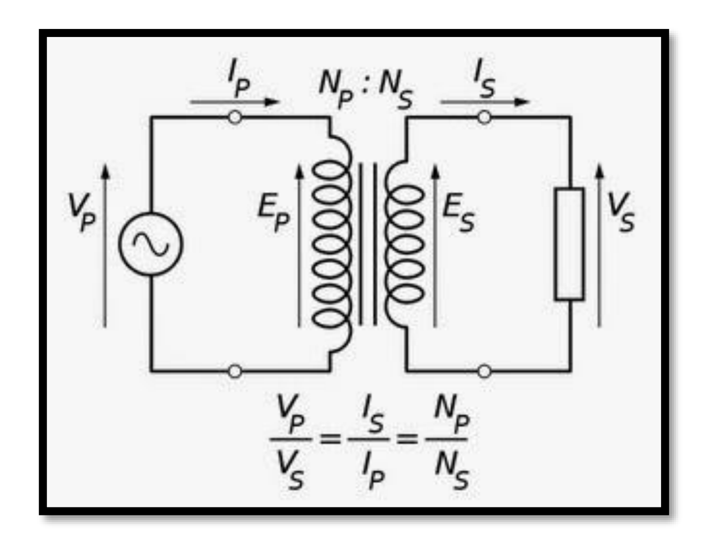
D. **De acuerdo con una Norma Internacional ¿Se acepta o rechaza los resultados de la prueba?**

Se acepta los resultados.

E. **La prueba de relación de transformador ¿Qué anomalías en transformador permiten identificar?**

Permite verificar la correcta relación entre las espiras del bobinado primaria y secundario, y de esta forma si existe una correcta relación de transformación entre sus bornes. Esta prueba nos permite identificar daños en el bobinado como por ejemplo espiras cortocircuitadas, incorrectas conexiones, problemas en el cambiador de tomas, entre otros. También es útil para determinar el grupo de conexión del transformador, lo cual es importante si se desea conectar en paralelo con otras máquinas.

F. **Dibujar el esquema eléctrico y mecánico de la prueba.**



CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

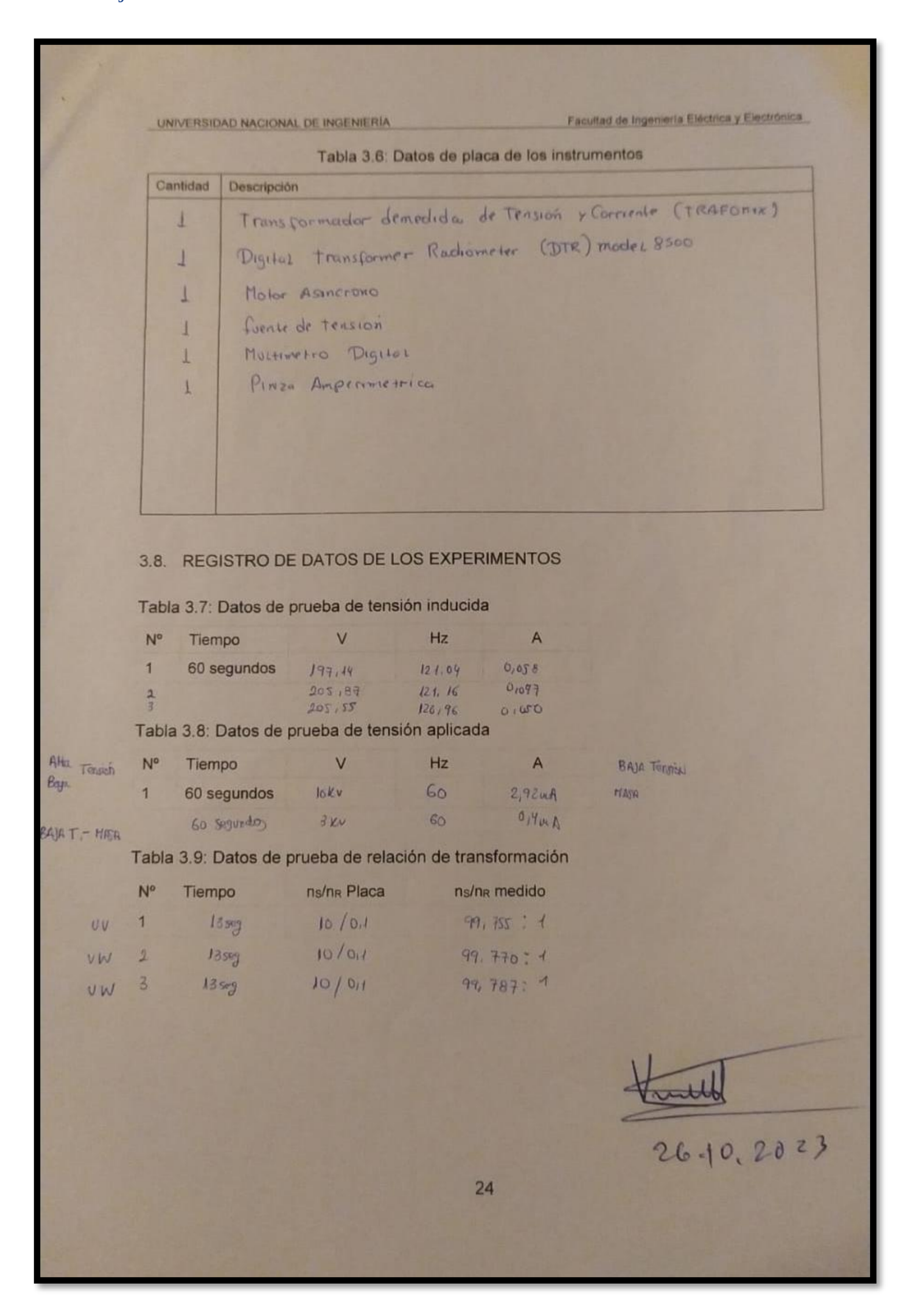
- Se concluye que la integridad del aislamiento es satisfactoria, ya que los valores de tensión inducida se mantuvieron estables dentro de los límites, lo que indica que el aislamiento es adecuado para evitar cortocircuitos y fugas de corriente.
- Se finaliza que el transformador es capaz de soportar sobretensiones, según los resultados de la prueba de tensión aplicada. Esto garantiza que el transformador no sufra daños en condiciones anormales de operación.
- Se verifica que el transformador cumple con la relación de transformación especificada, según los resultados de la medición de la relación de transformación. Esto asegura que el transformador funcione de acuerdo con las especificaciones y requerimientos del sistema eléctrico.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda establecer un programa de pruebas regulares en transformadores para asegurar su rendimiento continuo. Las pruebas deberían llevarse a cabo siguiendo los intervalos recomendados por los estándares y normativas aplicables.
- Se aconseja asignar recursos para la adquisición y el mantenimiento de equipos de prueba actualizados y calibrados, lo que es crucial para garantizar la precisión de los resultados.
- Se recomienda realizar la medición de la temperatura y la humedad relativa durante el ensayo de pruebas en transformadores con el fin de obtener información adicional sobre las condiciones ambientales y su impacto en el rendimiento del transformador. Esto puede ser especialmente relevante en laboratorios o entornos de prueba donde las condiciones ambientales pueden variar.

ANEXO

Anexo A. Hoja de datos del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA — Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Tabla 3.6: Datos de placa de los instrumentos

Cantidad	Descripción
1	Transformador demedida de Tensión y Corriente (TRAFOMIX)
1	Digital transformer Rachometer (DTR) model 8500
1	Motor Asincrono
1	fuente de tension
1	Multimetro Digital
1	Pinza Amperimetrica

3.8. REGISTRO DE DATOS DE LOS EXPERIMENTOS

Tabla 3.7: Datos de prueba de tensión inducida

Nº	Tiempo	V	Hz	A
1	60 segundos	197,14	121,04	0,058
2		205,87	121,16	0,097
3		205,55	126,96	0,050

Tabla 3.8: Datos de prueba de tensión aplicada

	Nº	Tiempo	V	Hz	A	
Alta Tensión Baja						BAJA Tensión
	1	60 segundos	16kv	60	2,92uA	MASA
BAJA T.- MASA		60 segundos	3kv	60	0,14uA	

Tabla 3.9: Datos de prueba de relación de transformación

	Nº	Tiempo	ns/nR Placa	ns/nR medido
UV	1	13seg	10 / 0,1	99,755 : 1
VW	2	13seg	10 / 0,1	99,770 : 1
UW	3	13seg	10 / 0,1	99,787 : 1

26.10.2023

24

BIBLIOGRAFÍA

Ventosilla, M. (2023). MANUAL DE EXPERIENCIAS: Laboratorio de medidas eléctricas II. *Universidad Nacional de Ingeniería*.

Electric, O. (2021, 6 mayo). *Pruebas de rutina para transformadores*. SIOSAC. https://transformadoressiosac.com/pruebas-de-rutina-para-transformadores/

Hernandez, O. S., Hernández, G., Ramírez, M. A., & Ayala, A. C. (2007). Implementación de un esquema de tensión inducida para pruebas a transformadores. *Ingeniería Energética*, *2*, 29-34. https://www.redalyc.org/pdf/3291/329127754005.pdf

Campos, F. J. R. (1991). Análisis de las fallas en transformadores causadas por la operación del Pararrayos ante sobretensiones externas. *Revista Ingenieria E Investigacion*, *22*, 34-46. https://doi.org/10.15446/ing.investig.n22.19705